

Aus der Universitäts-Augenklinik in Marburg

Direktor: Prof. Dr. med. W. Straub

**Fortlaufende
Sauerstoffpartialdruckmessungen in der
Vorderkammer und im Glaskörper
des lebenden Auges**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Jörg Driest

aus Braunschweig

Marburg 1966

Fotodruck von Erich Mauersberger in Marburg

Aus der Universitäts-Augenklinik in Marburg
Direktor: Prof. Dr. med. W. Straub

**Fortlaufende
Sauerstoffpartialdruckmessungen in der
Vorderkammer und im Glaskörper
des lebenden Auges**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Jörg Driest

aus Braunschweig

Marburg 1966

Fotodruck von Erich Mauersberger in Marburg

Angenommen von der Medizinischen Fakultät der
Universität Marburg

am 16. Juni 1966

gedruckt mit Genehmigung der Fakultät

Dekan: Prof.Dr.med.O Braun-Falco

Referent: Prof.Dr.med.W. Straub

Correferent: Dozent Dr.med.J.H. Rodenhäuser

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. Einleitung	1
II. Methodik	2
a.) Polarographie	2
b.) Apparatur	3
c.) Eichung	5
d.) Durchführung der Versuche	6
III. Versuche und Ergebnisse	7
a.) Sauerstoffmessungen in der Vorderkammer	7
b.) Sauerstoffmessungen im Glaskörper	10
IV. Diskussion	16
a.) Vorderkammer	16
b.) Glaskörper	20
V. Zusammenfassung	22
VI. Literaturverzeichnis	24
VII. Anhang	nach Seite 27



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153507_0010

E I N L E I T U N G

Zur Erhaltung der regelrechten Funktion eines Organs ist neben der Versorgung mit energiereichen organischen Stoffen im oxydativen Stoffwechsel die ständige Zufuhr von Sauerstoff notwendig. Mangel oder Überangebot können sich schädigend auswirken. So beeinträchtigt am Auge Sauerstoffmangel in der Atemluft z.B. den Ablauf der Dunkeladaptation (FISCHER und JONGBLOED 1936 (10), CIBIS 1952 (5), RUFF und STRUGHOLD 1957 (33), BYRNES 1951 (3)), die Farbentüchtigkeit (VELHAGEN 1936 (36)) und die beidäugige Zusammenarbeit (BIETTI und GIARDINI 1949 (2), RUFF und STRUGHOLD 1957 (33)) oder auch die Permeabilität der Blutkammerwasserschranke (GIARDINI 1952 (2)). Unterbrechung der Blutzufuhr zur Netzhaut und damit der Sauerstoffversorgung führt, wie wir am Beispiel des Zentralarterienverschlusses sehen, oft zu irreversiblen Schädigungen. Andererseits kann bekanntlich auch ein Sauerstoffüberangebot am noch nicht völlig entwickelten Auge schwere Schäden im Sinne der retrolentalen Fibroplasie hervorrufen.

Messungen des Sauerstoffverbrauchs am Auge durch Blutgasanalysen des arteriellen und venösen Blutes beim Kaninchen unter verschiedenen Bedingungen wurden von MEESMANN (1930) (27) und FISCHER (1930) (11) durchgeführt. Um nähere Aufschlüsse über den Stoffwechsel der Linse zu bekommen, wurde ihr Sauerstoffverbrauch bestimmt. Als erster beschäftigte sich MASHIMO (1809) (26) mit dieser Frage; er führte seine Untersuchungen mit dem mikrospirometer von WINTERSTEIN durch. Mit Hilfe der WARBURGschen Apparatur bestimmten KRONFELD (1927) (23), KRONFELD und BOTHMANN (1928) (24) den Sauerstoffverbrauch der Linse. Von DE HAAN (1922) (15) wurde die Vorderkammer des Kaninchens punktiert und die Punktate mit der mikroskopischen Tonometrie nach KROG analysiert. FRIEDENWALD und PIERCE (1937) (9) bestimmten den Sauerstoffpartialdruck (pO_2) des Kammerwassers und seine Abhängigkeit vom Linsenstoffwechsel durch Aequilibrierung einer Gasblase in situ. Die Gasblase wurde beim Hund in die Vorderkammer eingebracht; nach Druckausgleich wurde eine Probe des Gases entnommen und analysiert. Auf polarographischem Wege wurde erstmals der Sauerstoffgehalt in der Vorderkammer von HEALD und LANGHAM (1956) (17) ermittelt, wobei eine Quecksilber-Tropfelektrode benutzt wurde. NEUMANN (1958) (29) untersuchte den Sauerstoffgehalt des Kammerwassers an Kaninchenaugen unter Anwendung einer polarographischen Meßzelle. An Menschenaugen, bei denen aus klinischer Indikation intraokulare Eingriffe nötig waren, bestimmten KLEIFELD und NEUMANN (1959) (21) den Sauerstoffpartialdruck eines Kammerwasserpunktates. Sie brachten das Kammerwasser in eine von NEUMANN (1958) (29) beschriebene polarographische Meßzelle. Die

ersten fortlaufenden Messungen wurden von DRENCKHAHN und LORENZEN (1958)(8) durchgeführt. Sie bestimmten den pO_2 des Kammerwassers von Kaninchen polarographisch und benützten dabei eine blanke, zylindrische Platinelektrode, die mit wechselnder Spannung arbeitete. Sie wurde in die Vorderkammer zum Versuch eingestochen.

Sauerstoffuntersuchungen im Glaskörper wurden bisher lediglich von KRAUSE und GOREN (1956)(22) durchgeführt. Nach Entfernung von Hornhaut und Linse wurde bei Katzen eine Platinelektrode in das Glaskörpergewebe eingeführt und der Sauerstoffgehalt bei Hyperoxie und Hypoxie der Atemluft ermittelt.

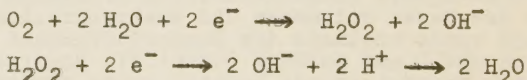
In der vorliegenden Arbeit wird über fortlaufende Messungen des Sauerstoffpartialdruckes in Vorderkammer und Glaskörper lebender intakter Kaninchenaugen berichtet. Die Untersuchungen wurden mit einer neuen Methode durchgeführt, die von JACOBI (1965)(18) beschrieben wurde.

M E T H O D I K

Die Sauerstoffpartialdruckmessungen erfolgten auf polarographischem Wege mit einer nach dem CLARK-Prinzip aufgebauten Miniaturplatinelektrode

a.) POLAROGRAPHIE

Das Prinzip der Polarographie besteht darin, daß durch Anlegen einer negativen Spannung an die Platinelektrode der an ihre Oberfläche diffundierende Sauerstoff durch Anlage von 2 Elektronen zu H_2O_2 und durch 2 weitere zu Wasser reduziert wird. Im neutralen oder alkalischen Medium läuft die Reaktion wahrscheinlich folgendermaßen ab (GLEICHMANN und LÜBBERS 1960 (14)):



Bei der Reaktion wird also laufend Sauerstoff verbraucht. Die Nachlieferung von molekularem Sauerstoff erfolgt durch Diffusion an die Platinoberfläche. Je mehr Sauerstoffmoleküle dort reduziert werden, um so stärker ist der im Meßkreis fließende Strom, der Reduktions- oder Diffusionsstrom.

Bei Erhöhung der an die Platinelektrode angelegten Spannung steigt dieser Strom zunächst an, bis er so groß geworden ist, daß in jedem Augenblick alle an der Elektrodenoberfläche eintreffenden Sauerstoffmoleküle reduziert werden. Die Sauerstoffkonzentration ist dann an der Platinoberfläche gleich Null. In diesem Fall wird die Stromstärke allein durch die Menge des nachdiffundierenden Sauerstoffs bestimmt, das heißt, eine Erhöhung der Spannung hat keinen Einfluß mehr auf die Stromstärke. Jetzt ist der Bereich des sogenannten Diffusionsgrenzstroms erreicht. Dieser nimmt mit dem Sauerstoffgehalt zu und ist dem Sauerstoffdruck in der Lösung proportional, da die Größe der Diffusion von der Sauerstoffdruckdifferenz bestimmt wird, die zwischen dem Sauerstoffdruck an der Platinoberfläche und dem in der Lösung besteht.

Das CLARK-Prinzip besteht darin, daß Platin- und Bezugselektrode gemeinsam in einer Elektrolytlösung hinter einer Polyäthylenmembran liegen, und dadurch die Elektrode von Einflüssen der Meßlösung geschützt wird.

Die polarographische pO_2 Bestimmung in biologischen Objekten mit der Platinelektrode wurde von DAVIS und BRINK (1942)(6) eingeführt. Seitdem sind eine Vielzahl von Methoden und Untersuchungen beschrieben worden, sowohl für die Messung in Geweben bzw. Gewebsflüssigkeiten als auch für die Messung im Blut.

b.) APPARATUR UND ELEKTRODE

Der von uns verwendete Elektrodentyp wurde nach dem CLARK-Prinzip von LISTON zu einer Miniaturelektrode umgestaltet. Sie ist zum Schutz gegen mechanische Beschädigung und zum besseren Einführen in die zu untersuchenden Gewebe und Flüssigkeiten von einer Flügelkanüle umgeben.

Ein 10 μ dicker Platindraht ist als Kathode so in Glas eingeschmolzen, daß nur die Spitze des Drahtes frei bleibt. Um diese Platin-kathodeneinheit ist eine zylinderförmige Silberanode angeordnet. Eine ca. 25 bis 30 μ dicke Polyäthylenmembran, die als kleines Hütchen gestaltet und nur für Gase durchlässig ist, bedeckt die Spitze der Elektrode. Zwischen Membran und Elektrode wird eine 3%-ige KCL-Lösung als Elektrolyt eingefüllt. Abb. 1 zeigt links die Flügelkanüle, rechts vergrößert die Spitze der Kanüle dargestellt mit der darin enthaltenen Elektrode. Die Polarisationsspannung liegt unveränderlich bei 680 mV. Der Sauerstoffeigenverbrauch der Elektrode ist wegen der kleinen Dimensionierungen so gering, daß

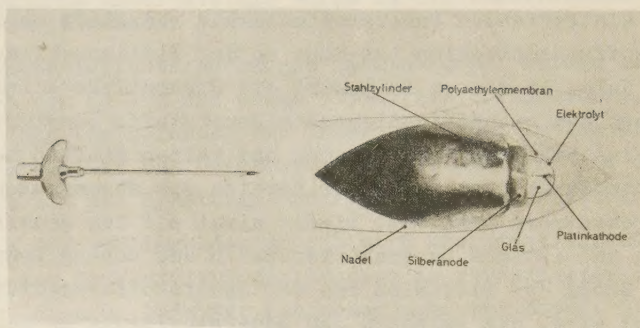


Abb.1: Miniaturplatinelektrode: links die Flügelkanüle; rechts in der Spitze der Kanüle der Elektrodenkopf schematisch vergrößert dargestellt.

er praktisch vernachlässigt werden kann; eine Beeinflussung des Meßergebnisses durch Konvektion tritt nicht ein. Nach GLEICHMANN und LÜBBERS (1960)(14) berechnet sich der durch den Eigenverbrauch der Elektrode bedingte Sauerstoffabfall mit folgender Formel:

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} \left[\frac{\text{Torr}}{\text{min}} \right] = 2,66 \frac{i [\text{mA}]}{\alpha \left[\frac{\text{ml O}_2}{\text{ml} \cdot 2 \text{ Atm}} \right] \cdot v [\text{ml}]}$$

worin i der bei gemessenem Druck fließende Strom in mA, α der BUNSENSche Löslichkeitskoeffizient und v die zur Verfügung stehende Flüssigkeitsmenge darstellt. Die errechneten Werte für $\frac{\Delta p}{\Delta t} \left[\frac{\text{mm Hg}}{\text{min}} \right]$ liegen weit unter einem Torr/min.

Der an der Elektrode fließende Strom, der bei 100 Torr Sauerstoffspannung etwa 10^{-9} Amp. beträgt, wird über einen Transistorverstärker, der nach dem Prinzip eines Zehnerverstärkers arbeitet und mit eingebautem Stabilisator für Netzspannungsschwankungen versehen ist, verstärkt. Ein angeschlossener Potentiometerschreiber registriert direkt die gemessenen Sauerstoffdrucke. Die Ablesegenauigkeit beträgt 2 Torr/4,5 mm Registrierpapier. Mit 45 sec. ist die Einstellzeit relativ groß. Sie beruht auf der Dicke der Polyäthylenmembran. Für die durchgeführten Versuche war diese Einstellzeit jedoch genügend kurz, da mit rascher ablaufenden Ver-

änderungen nicht zu rechnen war. Die Standardabweichung bei 20 Messungen in mit Eichgas aequilibriertem Aqua dest. betrug $\pm 5\%$ bis $\pm 0,9\%$.

c.) EICHUNG

Zur Eichung der Elektrode werden 4 mit Aqua dest. gefüllte Reagenzröhrchen mit verschiedenen Eichgasgemischen über Vorwärmspiralen durch Fritten (Porenstärke G 4) durchperlt. Die Röhrchen sind in einem Wasserbad, welches mit einem Thermostaten beheizt wird, aufgehängt; nach ca. 30 Minuten sind die Proben vollständig mit Eichgas aequilibriert und haben die Temperatur des Wasserbades angenommen.

Die Eichgasanalysen führten wir mit dem Gasanalysator nach SCHOLANDER durch, der Bestimmungen mit einer Fehlerbreite von 0,015 Volumenprozent zuläßt. Die Gemische wurden so gewählt, daß sie etwa den zu erwartenden Gasdrucken in Vorderkammer und im Glaskörper entsprechen:

1. 29,9% O₂, 1% CO₂, Rest N₂
2. 10,4% O₂, 1,5% CO₂, Rest N₂
3. 7,5% O₂, Rest N₂
4. 4,5% O₂, Rest N₂

Weiterhin wurde Luft mit 20,9% O₂ und Rest N₂ benutzt.

Zur Bestimmung des Null-Punktes wurde außer reinem Stickstoff eine 5%ige Glukoselösung durch 5 Tropfen einer Glukoseoxydaselösung desoxygeniert. Aus der Konzentration der Eichgasgemische wurde der Partialdruck (p) des Gases mit der Formel

$$p(\text{mmHg}) = \frac{\text{jeweiliger Luft-} - \text{Wasserdampf-}}{\text{druck in mmHg} \quad \text{druck in mmHg}} \cdot \text{Volumenprozent des Gases}$$

100

berechnet.

Die Temperatur im zu messenden Medium ist von erheblichem Einfluß auf die Genauigkeit der Messungen, da mit Änderung der Temperatur die Diffusionsverhältnisse an der Polyäthylenmembran sich ändern, so daß Temperaturschwankungen eine Änderung der Skalenanzeige verursachen, obwohl der pO₂ des untersuchten Mediums konstant ist. Es ist daher von größter Wichtigkeit, vor Beginn der Untersuchungen genaue Temperatureichungen der Elektrode durchzuführen.

Von SILEX (1893)(35), MICHEL (1886)(28) und GIESE (1894) (13) wurden in der Vorderkammer des Kaninchenauges mit Thermoelementen aus Altsilber und Eisen bzw. Kupfer und Eisen 32°C, im Glaskörper 34°C, gemessen. Wir selbst bestimmten in den betreffenden Medien mit einem Thermoelement (THLS 1265 der Firma HARTMANN und BRAUN) in dem Glaskörper 36,1°C und in der Vorderkammer 34,3°C (JACOBI und DRIEST). Auf die von uns gemessenen Temperaturen wurde der Thermostat eingestellt und die Wasserbadtemperatur mit einem zweiten Thermometer nachgeprüft.

Erst nachdem die Proben in den Reagenzröhrchen vollständig mit Eichgas aequilibriert sind und die eingestellte Tem-

Entsprechende Resultate erhielten wir mit Lösungen von Diphthin-Reinsubstanz. Auch bei der Elektrophorese in Agargel ergaben sich prinzipiell übereinstimmende Befunde, wie aus der Abbildung 2 zu ersehen ist.

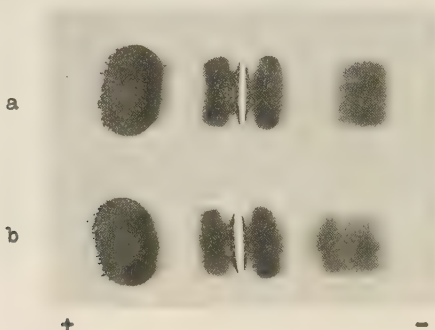


Abb. 2. Agargelelektrophorese eines menschlichen Serums
a) ohne und
b) mit Diphthin.

Vergleichende Immunelektrophoreseversuche zeigten nun, daß die beiden diphthinbedingten Subfraktionen der γ -Globuline mit einem präzipitierendem Anti-Humanserum vom Kaninchen¹⁾ zwei separate, sich überschneidende Präzipitationslinien bilden (Abb. 3a). Hingegen konnten wir mittels Anti- γ A-Globulin^{2,3)} und Anti- γ M-Globulin²⁾ nie eine Veränderung dieser beiden weiteren Immunglobuline immunoelektrophoretisch feststellen. (Abb. 3b bzw. 3c).

1) Firma Behringwerke, Marburg/L.

2) Centr. Lab. Bloedtr. Dienst, Ned. Roode Kruis, Amsterdam.

3) Nomenklatur der Immunglobuline nach den von der WHO (1964) empfohlenen einheitlichen Bezeichnungen: γ G für γ_2 bzw. 7S- γ , γ A für γ_1 A bzw. β_2 A und γ M für γ_1 M bzw. β_2 M.

Das gleiche war der Fall bei zahlreichen weiteren von uns untersuchten Serumproteinen. (Hierzu sei allerdings bemerkt, daß nicht erhitztes Diphthin infolge seines Gehaltes an Neuraminidase die Wanderungsgeschwindigkeit einer Reihe von Serumfraktionen beeinflußt (SCHIFF 1966, in Vorb.).

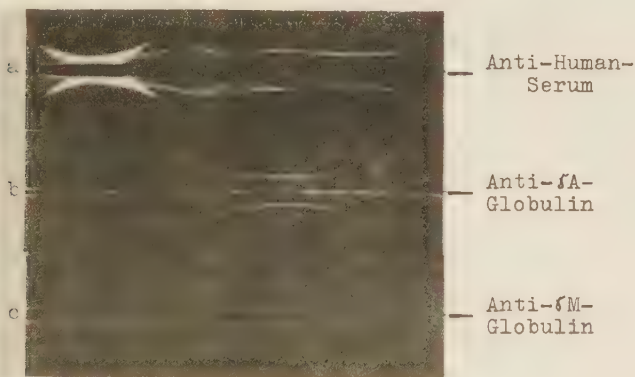


Abb. 3. Immunelektrophorese von diphthinbehandeltem Menschenserum mit
a) Anti-Humanserum,
b) Anti- γ A-Globulin und
c) Anti- γ M-Globulin.

Dieselben Befunde ergaben sich mit einem Anti-Rhesusaffenserum (Kaninchen)¹⁾. Mit Anti-Humanserum vom Pferd²⁾ erhielten wir bei unbehandeltem Serum zwei (eine Erfahrung, die auch von anderen Autoren gemacht wurde), bei diphthinbehandeltem Serum drei Präzipitationslinien der γ G-Globuline.

1) Firma Behringwerke, Marburg/L.

2) Institut Pasteur, Paris.

den einzelnen Versuchstagen schwankte, wurden die Werte auf 760 Torr atmosphärischen Luftdrucks berechnet, wobei sich ein Sauerstoffpartialdruck der Atemluft von 150,5 mm Hg ergibt. Die Formel lautet:

$$pO_2(\text{mm Hg}) = \frac{\text{Barometerdruck in mm Hg} - \text{Wasserdampfdruck in mm Hg}}{100} \cdot \text{Volumenprozent des Gases}$$

Für 760 mm Hg Barometerdruck und 40 mm Hg Wasserdampfdruck bei 34°C sowie 20,9 Volumenprozent O₂ der Atemluft ergibt sich:

$$pO_2(\text{mm Hg}) = \frac{760 - 40}{100} \cdot 20,9 = 150,5 \text{ mm Hg}$$

Die Eichtemperatur betrug 34,3°C, der Mittelwert unserer Vorderkammermessungen.

In Tabelle I sind die Ergebnisse dargestellt. Die Beobach-

Kaninchen Nr.	Auge	Versuchs- dauer/Min.	pO ₂
1	li.	10	33,5
2	li.	10	42,8
4	li.	20	24,3
5	li.	15	37,0
5	re.	20	24,3
6	li.	10	36,0
7	re.	25	40,0
8	re.	60	27,6
9	re.	70	25,6
10	re.	25	27,3
10	li.	25	22,9
11	re.	60	24,7
13	re.	15	32,0
17	re.	60	33,8
20	re.	10	34,1
21	re.	10	25,0
22	li.	20	38,7
25	re.	15	26,6
29	li.	35	33,0

Tab. I: Sauerstoffpartialdrucke (pO₂) in der Vorderkammer des Kaninchenauges. Sauerstoffdruck in der Atemluft 150,5 mm Hg entsprechend einem Barometerdruck von 760 Torr und einem Sauerstoffgehalt von 20,9%. Eichtemperatur 34,3°C.

tungszeit liegt zwischen 10 und 70 Minuten. Der Verlauf der Kurven war etwa gradlinig und zeigte nur geringfügige Schwankungen. Wir fanden Sauerstoffpartialdrucke zwischen 22,9 mm Hg und 42,8 mm Hg mit einem Mittelwert von 31,0 mm Hg und einer Standardabweichung $\sigma \pm 6,12$. In Abb. 4 sind die Ergebnisse im Säulendiagramm dargestellt. Werte zwischen 23 und 28 mm Hg

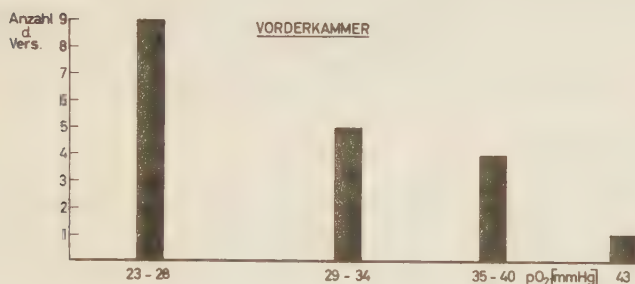


Abb.4: Sauerstoffpartialdrucke (pO_2) in der Vorderkammer des lebenden Kaninchenauges. Abszisse: pO_2 (mm Hg); Ordinate: Anzahl der Versuche.

wurden 9 mal, zwischen 29 und 34 mm Hg 5 mal, zwischen 35 und 40 mm Hg 4 mal gemessen. 43 mm Hg Sauerstoff wurde nur einmal gefunden.

Nach dem HENRYschen Gesetz (LANDOIS-ROSEMAN(25)), welches besagt, daß die Menge des gelösten C_2 sich proportional dem Partialdruck verhält, wurden die Werte in Gamma/ml umgerechnet; formelmäßig ausgedrückt:

$$\text{Anzahl der in } 1\text{cm}^3\text{H}_2\text{O} \text{ gelösten cm}^3\text{O}_2 = pO_2 [\text{in Atm.}] \cdot \text{Löslichkeitskoeffizient des O}_2$$

Für die genannten Drucke errechnet sich ein O_2 -Gehalt zwischen 1,06 bis 1,97 Gamma/ml mit einem Mittelwert von 1,3 Gamma/ml.

Bei drei Versuchen war die Vorderkammer während der Per-

foration der Hornhaut zum Teil abgeflossen; sie wurde mit physiologischer Kochsalzlösung wieder aufgefüllt und der Kurvenverlauf über 25 bis 70 Minuten beobachtet. Es stellten sich Werte von 40,0 mm Hg, 25,6 mm Hg und 24,7 mm Hg ein. Zwei Kaninchen wiesen auf dem untersuchten linken Auge eine mature Strahlenkatarakt auf, die nach Applikation von 930 r Neutronenbestrahlung experimentell erzeugt worden war. Die Sauerstoffpartialdrucke betrugen 24,3 mm Hg und 36,0 mm Hg.

Bei zwei Tieren wurden in einigen Tagen Abstand in der rechten und linken Vorderkammer die O_2 -Analysen durchgeführt; bei Tier 5 bestimmten wir rechts 24,3 mm Hg, links 37,0 mm Hg, bei Tier 10 rechts 24,3 mm Hg, links 22,9 mm Hg.

b.) GLASKÖRPER

An 35 Kaninchenaugen führten wir insgesamt 59 Sauerstoffpartialdruckmessungen im Glaskörper durch.

Wie bei den Untersuchungen in der Vorderkammer wurden

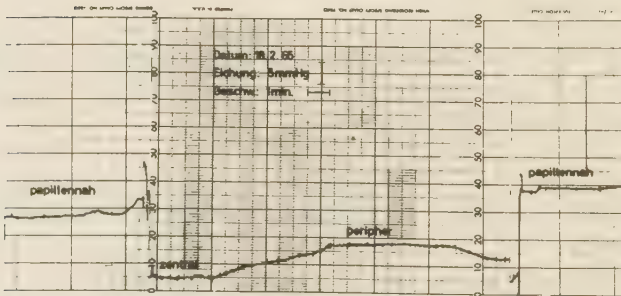


Abb.5: Originalkurve der an verschiedenen Glaskörperbezirken gemessenen Sauerstoffpartialdrucke. Barometerdruck 760 Torr; Eichtemperatur $34,3^{\circ}\text{C}$.

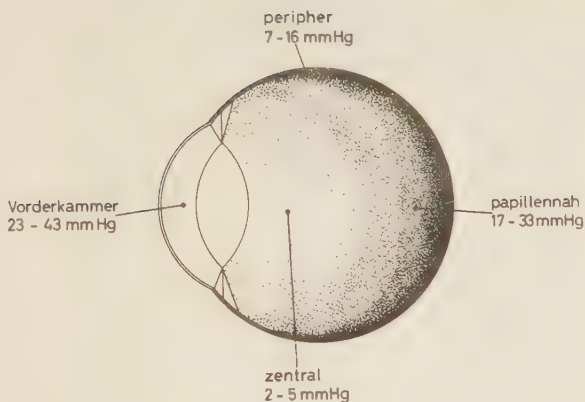


Abb. 6: Sauerstoffpartialdrucke (pO_2) in der Vorderkammer und an verschiedenen Glaskörperbereichen des lebenden Kaninchenauges bei Beatmung mit Außenluft. Barometerdruck 760 Torr; Eichtemperatur: Vorderkammer: $34,3^{\circ}C$; Glaskörper: $36,1^{\circ}C$.

auch hier die Ergebnisse auf einen atmosphärischen Druck von 760 Torr umgerechnet, um vergleichbare Werte zu erhalten. Unter Berücksichtigung eines Wasserdampfdruckes von 45 mm Hg bei $36^{\circ}C$ ergibt sich ein Sauerstoffgehalt der Atemluft von 149,5 mm Hg.

Die Werte an verschiedenen Glaskörperbezirken wurden bis zu 60 Minuten beobachtet; der Kurvenverlauf war über längere Strecken geradlinig. Abb. 5 zeigt eine Originalkurve mit an verschiedenen Glaskörperarealen gemessenen Werten. Nach den gefundenen Sauerstoffpartialdrucken lassen sich grob schematisch drei Glaskörpergebiete abgrenzen, die wir als "zentral, peripher und papillennah" bezeichneten, wobei mit zentral das Glaskörperzentrum und der retrolentale Raum und mit peripher das Corpus vitreum vor dem Ziliarkörper bis zu den markhaltigen Nervenfasern umschrieben wird; papillennah umfaßt das

Kaninchen Nr.	Auge	Versuchs- dauer/Min.	pO ₂
2	re.	5	5,2
3	li.	10	4,3
6	li.	10	5,3
15	re.	10	3,8
16	re.	15	3,8
20	li.	10	1,9
22	li.	10	2,8
24	li.	10	3,6
24	re.	10	2,8
25	li.	15	2,8
25	re.	10	3,6
26	re.	5	2,8
27	re.	15	2,8
27	li.	10	2,8
30	li.	10	3,8
31	re.	15	1,8
32	li.	30	3,6

Tab. II: Sauerstoffpartialdrucke (pO₂) im Glaskörper des Kaninchenauges. Lage der Elektrode "zentral". Sauerstoffdruck der Atemluft 149,5 mm Hg entsprechend einem Barometerdruck von 760 Torr und einem O₂ Gehalt von 20,9 Vol%; Eichtemperatur 36,1°C.

Glaskörpergewebe vor der Papille, einschließlich der markhaltigen Nervenfasern und der großen Gefäße.

Abb. 5 zeigt weiter, daß zentral und peripher wesentlich niedrigere Werte gefunden wurden als papillennah. In Abb. 6 ist die gefundene Sauerstoffverteilung im Glaskörper des Kaninchenauges aufgezeichnet. Zentral lagen die Werte zwischen 2 und 5 mm Hg mit einem Mittelwert von 3 mm Hg und einer Standardabweichung von $\Sigma \pm 1,0$. In dem peripheren Bezirk fanden wir 7 bis 16 mm Hg; $M = 13$ mm Hg; $\Sigma \pm 3,3$; papillennah bestimmten wir 17 bis 33 mm Hg; $M = 24,0$; $\Sigma \pm 5,2$.

Kaninchen Nr.	Auge	Versuchs- dauer/Min.	pO ₂
1	re.	15	13,8
2	re.	10	13,0
3	li.	30	15,8
12	li.	15	12,8
13	li.	10	8,8
14	li.	20	11,8
14	re.	60	11,8
15	re.	15	9,5
15	li.	10	8,8
16	re.	20	8,8
16	li.	20	7,5
18	li.	15	6,5
18	re.	15	13,9
19	re.	35	13,0
20	li.	10	11,1
21	li.	15	11,1
23	li.	10	8,5
24	li.	10	8,5
24	re.	25	9,5
25	re.	20	9,5
26	re.	10	9,5
26	li.	20	8,5
27	li.	20	11,1
28	li.	30	8,8
31	re.	15	13,7
33	re.	20	9,5

Tab. .III: Sauerstoffpartialdrucke (pO₂) im Glaskörper des Kaninchenauges. Lage der Elektrode "peripher". Sauerstoffdruck der Atemluft 149,5 mm Hg entsprechend einem Barometerdruck von 760 Torr und einem O₂ Gehalt von 20,9 Vol%; Lichttemperatur 36,1°C.

Ungerechnet in Gamma pro ml ergaben sich folgende Mittelwerte:
Zentral 0,09 Gamma pro ml.

Kaninchen Nr.	Auge	Versuchs- dauer/Min.	pO ₂
2	re.	5	17,0
3	li.	20	24,2
24	li.	10	23,1
25	li.	15	32,0
25	re.	10	29,0
26	re.	20	32,8
26	li.	15	17,2
27	li.	10	19,0
27	re.	10	19,0
30	re.	20	30,3
31	re.	40	23,1
31	li.	5	27,0
32	li.	15	18,2
32	re.	15	25,0
33	li.	15	21,2
33	re.	20	27,0

Tab. IV: Sauerstoffpartialdrucke (pO₂) im Glaskörper des Kaninchenauges. Lage der Elektrode "papillennah". Sauerstoffdruck der Atemluft 149,5 mm Hg entsprechend einem Barometerdruck von 760 Torr und einem O₂ Gehalt von 20,9 Vol%; Eichtemperatur 36,1°C.

Peripher 0,59 Gamma pro ml.

Papillennah 0,91 Gamma pro ml.

In den Tabellen II, III, IV sind die einzelnen Versuchsergebnisse mit Verlaufsduer aufgezeichnet. Tabelle V gibt die Minimum- und Maximumwerte in mm Hg und Gamma pro ml mit Mittelwerten und Standardabweichungen wieder.

In Abb. 7 sind die Ergebnisse im Säulendiagramm aufgetragen. Die Abszisse gibt den pO₂ in mm Hg an, wobei die Klasseneinteilung im Abstand der Standardabweichung erfolgte; auf der Ordinate ist die Anzahl der Versuche dargestellt.

Es zeigt sich, daß zentral 4 mm Hg Sauerstoff mit 7 Versuchen am häufigsten gemessen wurde, peripher liegt die Gruppe mit 10 - 12 mm Hg an der Spitze und papillennah wurde mit

	Min. u. Max. pO ₂ [mmHg] u. [γ/ml]	Mittelwert pO ₂ [mmHg] u. [γ/ml]	Standard- abweichung
VORDERKAM- MER	22,9 - 42,8 (1,06 - 1,97)	31,0 (1,3)	± 6,12
GLASKÖRPER			
zentral	1,8 - 5,2 (0,07 - 0,21)	3,4 (0,09)	± 1
peripher	6,5 - 15,8 (0,31 - 0,74)	12,8 (0,59)	± 3,31
papillen- nah	17,0 - 32,8 (0,78 - 1,3)	24,0 (0,91)	± 5,2

$$\text{Mittelwert } M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\text{Standardabweichung } G = \pm \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n-1}}$$

Tab. V: Minimale und maximale Sauerstoffpartialdruckwerte in der Vorderkammer und im Glaskörper des Kaninchenauges in mm Hg und γ/ml; Mittelwerte und Standardabweichung.

6 Versuchen am häufigsten 17 - 21 mm Hg gemessen. Bei der relativ hoch erscheinenden Streuung ist zu berücksichtigen, daß die Elektrode jeweils nicht exakt an der gleichen Stelle zu liegen kam. Neben dem methodischen Fehler, der in mit Eichgas äquilibriertem Aqua dest. mit ± 0,9 % sehr klein war, geht als hauptsächlicher Faktor für die Streuung also noch die nicht exakt produzierbare Elektrodenlage ein. In Abb. 8 sind die gefundenen Einzelmessungen in den verschiedenen Glaskörperbezirken ansteigend aufgetragen. Die einzelnen Punkte geben an, wie oft die betreffenden Werte gemessen wurden. Auch hieraus geht hervor, daß sich die Glaskörperabschnitte, die verschiedene Sauerstoffpartialdrucke aufweisen, nicht scharf abgrenzen lassen, sondern daß vielmehr ein fließender Übergang von einer zur anderen Zone besteht.

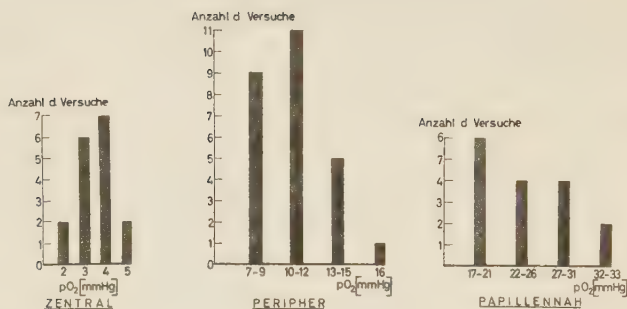


Abb.7: Sauerstoffpartialdrucke (pO_2) im Glaskörper des lebenden Kaninchenauges. Abszisse: pO_2 (mm Hg); Ordinate: Anzahl der Versuche. Klasseneinteilung im Abstand der Standardabweichung.

DISKUSSION

a.) VORDERKAMMER

Die Ergebnisse über den Sauerstoffgehalt der Vorderkammer bei verschiedenen Versuchstieren und bei Menschen der in der Einleitung erwähnten Autoren sind zusammen mit dem O_2 -Gehalt anderer Gewebe und Flüssigkeiten in Tabelle VI zusammengestellt. Von den meisten Untersuchern wird der während den Versuchen herrschende Barometerdruck und damit der Sauerstoffpartialdruck der Außenluft sowie die Eichtemperaturen nicht angegeben. Hierdurch entsteht ein Fehler, der zwar gering ist, bei vergleichenden Betrachtungen jedoch berücksichtigt werden muß.

Sauerstoffpartialdruckmessungen, die mit anderen Methoden durchgeführt wurden, zeigen zum Teil niedrigere Werte, zum Teil ist die Streuung wesentlich größer. So fand DE HAAN(15) nach Punktion der Vorderkammer im entnommenen Kammerwasser-

Milieu	Objekt	pO_2 (mmHg) u. ($\frac{g}{ml}$)	Methode	Untersucher
Kammerwasser	Kaninchen	18 - 31	Mikrosk. Tonometrie n. KROGH	DE HAAN (1922)
"	"	26 - 80	Hg-Tropfelekt.	HEALD u. LANGHAM (1956)
"	"	21 - 46	polarographisch	DRENCKHAHN u. LORENZEN (1958)
"	"	2,1 (45,4)	"	NEUMANN (1958)
"	Hund	30 - 40	Gasblase aequilibriert	FRIEDENWALD u. PIERCE (1937)
"	Mensch	52,6	polarograph. Meßzelle	KLEI FELD u. HOCKWIN (1961)
"	"	1,5 - 2,7 (37,5-68)	"	KLEI FELD u. NEUMANN (1959)
"	"	2,81 - 5,91 (63,7-132,9) n. O_2 Beatmung	"	KLEI FELD u. HOCKWIN (1961)
"	Kaninchen	22,8 - 42,8	polarographisch	EIGENE MESSUNGEN (1965)
Glaskörper	Katze	53	"	KRAUSE u. GOREN (1956)
Glaskörper: zentral	Kaninchen	1,8 - 5,2 (0,07-0,21)	"	EIGENE MESSUNGEN (1965)
peripher	"	6,5 - 15,8 (0,31-0,74)	"	"
papillennah	"	17 - 32,8 (0,78-1,3)	"	"
Subcutis	"	16 - 31		CAMPBELL (1928)
Peritoneum	"	34 - 44		"
v. vortica	"	30 - 40		FISCHER u. MEESMANN (1930)
v. jug. int.	Mensch	30 - 40	polarographisch	DRENCKHAHN (1956)
a. femoralis	Kaninchen	66,0	"	EIGENE MESSUNGEN (1965)
v. femoralis	"	34,1	"	"

Tab. VI: Sauerstoffpartialdrucke (pO_2) im Kammerwasser, Glaskörper und anderen Geweben und Flüssigkeiten bei Versuchstieren und Mensch.

nutzten sie ebenfalls Kaninchen und analysierten fortlaufend mit einer polarographischen Methode, wobei sie allerdings eine blanke Platinelektrode verwendeten, deren Nachteile LÜBBERS (1960) (14) hervorhebt. Die Angaben von FRIEDENWALD und PIERCE

(1937)(9), die ihre Versuche an Hunden durchführten, stimmen mit 30 bis 40 mm Hg ebenfalls mit unseren gut überein. KLEIFELD und HOCKWIN (1961)(20) fanden in der Vorderkammer menschlicher Augen, die wegen eines Aderhaut-Tumors enukleiert werden mußten, bei 37°C und 760 mm Hg Barometerdruck einen Mittelwert von 52,6 mm Hg; bei Beatmung über 30-40 Minuten stiegen die Werte auf das 1,3 bis 2,8-fache an. Der Mittelwert liegt höher als die von DRENCKHAHN und LORENZEN (8) und von uns gefundenen Mittelwerte bei Kaninchen. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß es sich um begreiflicherweise nicht völlig gesunde Augen handelte. Weiterhin können physiologischerweise andere Verhältnisse als beim Kaninchen vorliegen, welches eine vom menschlichen Auge abweichende Gefäßversorgung nicht nur der Netzhaut, sondern auch der vorderen Augenabschnitte hat (zit. nach RODENHÄUSER(31)).

Bei unseren Versuchen kam es während der Hornhautperforation bei drei Augen zum teilweisen Abfließen der Vorderkammer. Nach Auffüllen mit physiologischer Kochsalzlösung stellten sich anfänglich höhere Werte ein, die langsam abfielen. Nach ca. 20 Minuten war ein gleichbleibendes Niveau erreicht.

Zwei Augen wiesen eine mit Neutronenstrahlen experimentell erzeugte Strahlenkatarakt auf. Die pO_2 -Werte zeigten keinen Unterschied gegenüber den nicht vorbehandelten Tieren. Wenn auch aus den Befunden zweier Augen keine endgültigen Schlüsse gezogen werden können, so ist doch erwähnenswert, daß auch KLEIFELD und NEUMANN (1959)(21) bei ihren Untersuchungen einige Linsentrübungen hatten, bei denen sich ebenfalls keine Unterschiede im Sauerstoffgehalt gegenüber Augen ohne Katarakt fanden.

Bei zwei weiteren Kaninchen wurde an verschiedenen Tagen der pO_2 der Vorderkammer gemessen; bei dem ersten lag die Differenz mit 4 mm Hg innerhalb der Streuung, bei dem zweiten bestimmten wir zwischen rechts und links eine Abweichung von 13 mm Hg, für die bisher eine Deutung noch nicht gegeben werden kann. Möglicherweise sind die unterschiedlichen Ergebnisse dadurch bedingt, daß die Elektroden spitze einmal mehr der Hornhautrückfläche mit niedriger Temperatur anlag, das andere Mal mehr iriswärts, wo eine etwas höhere Temperatur besteht.

b.) GLASKÖRPER

Über fortlaufende Messungen des Sauerstoffgehaltes im Glaskörper des intakten Auges ist bisher in der Literatur nichts bekannt. Einzelbestimmungen über den Gehalt dieses Gases im Corpus vitreum führten bisher lediglich KRAUSE und GOREN (1956)(22) an Katzen durch. Sie entfernten allerdings Hornhaut und Linse des zu untersuchenden Auges und brachten in das Glaskörpergewebe des derart veränderten Bulbus eine Platinelektrode ein. Kontinuierliche Registrierungen und wiederholte Messungen waren bei diesem Verfahren nicht möglich. Die Autoren fanden einen mittleren pO_2 unter "physiologischen Bedingungen" von 53 mm Hg. Angaben über den Sauerstoffgehalt an verschiedenen Glaskörperbezirken wurden nicht gemacht.

Demgegenüber bestimmten wir an verschiedenen Stellen des Glaskörpers einen unterschiedlichen Sauerstoffpartialdruck, wie Abb. 6 zeigt.

Es erhebt sich nun erstens die Frage, woher der Glaskörper mit Sauerstoff versorgt wird und wodurch es zu der geschilderten Verteilung kommt und zweitens, welche Funktion ihm in dem zellarmen Gewebe zukommt. Im Glaskörper verlaufen ja normalerweise keine Gefäße. Lediglich auf der Glaskörperoberfläche finden sich über der Membrana limitans interna in einer Ebene Gefäße ausgebreitet, die jedoch auf den Bereich der Markfaserschicht beschränkt sind und ihr anatomisch und funktionell zuzuordnen sind (ROHEN 1964(32)). Zur Sauerstoffversorgung des Glaskörpers besteht daher nur die Möglichkeit der Diffusion aus den Gefäßen der Umgebung bzw. der Vorder- und Hinterkammer. Die gefundene Verteilung legt die Vermutung nahe, daß der Glaskörper seinen Sauerstoff vom Fundusgefäßsystem her erhält, und daß Ciliarkörper bzw. Vorder- und Hinterkammer höchstens in geringem Umfange beteiligt sind. Neben dem Diffusionskoeffizienten und dem Querschnitt ist nach dem FICKschen Diffusionsgesetz die diffundierende Menge dem Konzentrationsgefälle proportional. Bei der Diffusion aus der Vorderkammer, in der wir übereinstimmend mit anderen Autoren (DRENCKHAHN und LÖRENZEN 1958(8), FRIEDENWALD und PIERCE 1937(9)) einen Sauerstoffpartialdruck von 23 bis 43 mm Hg ermittelten, müßte

also bei diesem steilen Druckgefälle ein dichtes Diffusionshindernis entgegenwirken. PAU (1951)(30) hatte bei seinen Versuchen über die Durchlässigkeit des Glaskörpers für physiologische Flüssigkeiten gefunden, daß im Rinderglaskörper ohne Verletzungen der sog. Glaskörpergrenzmembran der Flüssigkeitsverlust wesentlich geringer ist als bei Läsionen. Farbstoffe diffundierten zwar innerhalb von Stunden in den Glaskörper hinein, der Vorgang lief aber so langsam ab, daß auch nach 24 Stunden das untere Drittel noch farbstofffrei war. Diese Versuche machen deutlich, daß der intakte Glaskörper für von außen auf ihn einwirkende Flüssigkeiten weitgehend undurchlässig ist. Möglicherweise hat man in dem geringen Sauerstoffgehalt der vorderen und mittleren Glaskörperabschnitte eine Parallele zu den Befunden von PAU zu sehen.

Über die Verteilung mancher Moleküle im Corpus vitreum wissen wir, daß sie anders ist, als man nach den Gesetzen der Diffusion erwarten würde. So fanden DAVSON und DUKE-ELDER (1948)(7) eine Glucoseverteilung, die nach Ansicht der beiden Autoren vom Stoffwechsel der Netzhaut abhängig ist. Von anorganischen Substanzen sei Phosphat erwähnt, das nach CHRISTIANSSON und PALM (1954)(4) im Glaskörper in einer Konzentration vorliegt, die 6 Mal niedriger als im Kammerwasser ist. Sie fanden weiter an Kaninchenaugen, daß p^{32} nur äußerst langsam in den Glaskörper diffundiert. Die wenigen Beispiele mögen zeigen, daß Verteilungsmuster und Diffusionsvermögen kleinerer und größerer Moleküle im Glaskörper Besonderheiten aufweisen, deren Ursache und Bedeutung noch nicht vollständig geklärt sind.

Untersuchungen über den Sauerstoffeigenverbrauch des vitrealen Gewebes liegen bisher nicht vor. Fragt man, welche Bedeutung ihm in diesem bradytrophen Gewebe überhaupt zukommt, so könnte neben geringen eigenen Stoffwechselbedürfnissen auch hier eine funktionelle Beziehung zum Stoffwechsel der Netzhaut bestehen, etwa derart, daß der Glaskörper als ein Sauerstoffdepot oder Puffersystem fungiert und je nach Bedarf Sauerstoff aufnehmen oder abgeben kann.

Z U S A M M E N F A S S U N G

1.) Einleitend wird die Problemstellung und die Bedeutung der Sauerstoffversorgung zur Erhaltung einer normalen Funktion des Auges besprochen.

2.) Es wird ein Überblick über die bisher in der Literatur beschriebenen Methoden zur Sauerstoffbestimmung in der Vorderkammer und im Glaskörper unter normalen und experimentell abgewandelten Bedingungen gegeben.

3.) An Hand einer vereinfachten Darstellung wird das Prinzip der Polarographie beschrieben und insbesondere die Messung des Sauerstoffpartialdruckes mit der verwendeten Miniaturplatinenelektrode erläutert, wobei auf die Eichung mit verschiedenen Gasgemischen und die Temperatureichung eingegangen wird.

4.) An 19 lebenden intakten Kaninchenaugen wurde der Sauerstoffpartialdruck (pO_2) in der Vorderkammer gemessen; bei einem Barometerdruck von 760 Torr und einer Eichtemperatur nach eigenen Bestimmungen von $34,3^{\circ}C$ wurden Werte zwischen 22,9 mm Hg und 42,8 mm Hg über einen zeitlichen Ablauf von 10 bis 70 Minuten gemessen; Mittelwert 31,0 mm Hg, $\sigma = \pm 6,12$. Durch Umrechnung der pO_2 Werte nach dem HENRY'schen Gesetz ergibt sich ein Sauerstoffgehalt zwischen 1,06 γ/ml und 1,97 γ/ml mit einem Mittelwert von 1,3 γ/ml .

5.) An 35 Kaninchenaugen wurde der Sauerstoffgehalt im Glaskörper unter besonderer Berücksichtigung der Elektrodenlage im Corpus vitreum ermittelt. Die Werte wurden auf einen Barometerdruck von 760 mm Hg berechnet, Eichtemperatur nach eigenen Temperaturmessungen $36,1^{\circ}C$. Es ergab sich eine charakteristische Sauerstoffverteilung; zentral lagen die Werte zwischen 2 und 5 mm Hg, $M = 3$ mm Hg, $\sigma = \pm 1,0$; peripher 7 - 16 mm Hg, $M = 13$ mm Hg, $\sigma = \pm 3,3$; papillennah 17 - 33 mm Hg, $M = 24$ mm Hg, $\sigma = \pm 5,2$. Umgerechnet in γ/ml ergeben sich in den verschiedenen Glaskörperarealen folgende Werte: zentral 0,09 γ/ml ; peripher 0,59 γ/ml ; papillennah 0,91 γ/ml .

6.) In der Diskussion werden die früheren Methoden und Ergebnisse mit den eigenen verglichen und kritisch besprochen, wobei besonders darauf hingewiesen wird, daß die relativ hoch erscheinende Streuung dadurch bedingt ist, daß die Elektrode

bei den einzelnen Versuchen jeweils nicht exakt an der gleichen Stelle zu liegen kam.

7.) Es werden die Fragen diskutiert: a.) woher der Glaskörper mit Sauerstoff versorgt wird, b.) wodurch es zu der geschilderten Verteilung kommt und c.) welche Funktion dem Sauerstoff im Glaskörper zukommt.

8.) Die Sauerstoffausbreitung wird mit der Verteilung anderer Moleküle im Glaskörper verglichen. Es zeigt sich, daß Verteilungsmuster und Diffusionsvermögen verschiedener Moleküle im Glaskörper Besonderheiten aufweisen.

L I T E R A T U R

1.) BAKKER, A.

Eine Methode, die Linsen erwachsener Kaninchen außerhalb des Körpers am Leben zu erhalten.

Albrecht v. Graefes Arch. Ophthal. 135, 581 (1938)

2.) BIETTI, G.B. und GIARDINI, A.

Influenza dell'anossia sui movimenti oculari.

Riv. med. aeronaut. 12, 198 (1949)

3.) BYRNES, V.A.

Visual problems of supersonic speeds.

Am. J. Ophthal. 34, 169 (1951)

4.) CHRISTIANSSON, J. und PALM, E.

The exchange of substances in the anterior part of the vitreous body, bordering upon the lens.

Acta ophth., Kbh. 32, 197 (1954)

5.) CIBIS, P.A.

Retinal adaption in night flying.

J. Ariat. Med. 23, 168 (1952)

6.) DAVIS, P.W. and BRINK, F. jr.

Rev. sci. Instr. 13, 524 (1942)

7.) DAVSON, H., DUKE-ELDER, W.S.

The distribution of reducing substances between the intraocular fluids and the blood plasma and the kinetics of penetration of various sugars into these fluids.

J. Physiol. 107, 141 (1948)

8.) DRENCKHAHN, F.O. und LORENZEN, K.K.

Der Sauerstoffdruck in der Vorderkammer des Auges und die Geschwindigkeit der Sauerstoffaufsättigung des Kammerwassers.

Albrecht v. Graefes Arch. Ophthal. 160, 378 (1958)

9.) FRIEDENWALD, I.S. and PIERCE, H.F.

Circulation of the aqueous.

Arch. Ophthal. 17, 477 (1937)

- 10.) FISCHER, F. und JONGBLOED, I.
Untersuchungen über die Dunkeladaptation bei herabgesetztem Sauerstoffdruck der Atemluft.
Arch.f.Augenheilk. 109, 452 (1936)
- 11.) FISCHER, F.P.
Ein Versuch den Energiewechsel im Auge zu bestimmen.
Ber.dtsch.ophtal.Ges. 48, 95 (1930)
- 12.) GIARDINI, A.
Permeabilità della barriera emato-oftalmico alla fluorescina in anossia acuta.
Riv.med.aeronaut. 15, 1 (1952)
- 13.) GIESE, R.
Temperaturmessungen im Conjunktivalsack des Menschen.
Arch.f.Augenheilk. 28, 292 (1894)
- 14.) GLEICHMANN, K. und LÜBBERS, D.W.
Die Messung des Sauerstoffdruckes in Gasen und Flüssigkeiten mit der Platinelektrode unter besonderer Berücksichtigung der Messung im Blut.
Pflügers Arch.ges.Physiol. 271, 431 (1960)
- 15.) HAAN, I.DE
La tension et la consommation d'oxygène dans l'humeur aqueuse.
Arch.néerl.Physiol. 7, 245 (1922) Zit.nach DRENCKHAHN
- 16.) HANS, W., HOCKWIN, O. und KLEIFELD, O.
Die Bestimmung des Sauerstoffverbrauchs der Linse auf polarographischem Wege.
Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 157, 72 (1955/56)
- 17.) HEALD, K. and LANGHAM, M.
Permeability of the cornea and the blood aqueous barrier to oxygen.
Brit.J.Ophthal. 40, 705 (1956,
- 18.) JACOBI, K.W.
Eine Methode zur fortlaufenden Sauerstoffbestimmung im Kammerwasser und Glaskörper des lebenden Auges.
Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 168, 61 (1965)

- 19.) KLEIFELD, O. und HOCKWIN, O.
Die Bedeutung des Sauerstoffs für den Stoffwechsel
der Linse.
Albrecht v. Graefes Arch. Ophthal. 162, 346 (1960/61)
- 20.) KLEIFELD, O. und HOCKWIN, O.
Der Sauerstoffgehalt des menschlichen Kammerwassers
nach Beatmung.
Klin. Mbl. Augenheilk. 139, 513 (1961)
- 21.) KLEIFELD, O. und NEUMANN, H. G.
Der Sauerstoffgehalt des menschlichen Kammerwassers.
Klin. Mbl. Augenheilk. 135, 224 (1959)
- 22.) KRAUSE, A. C. and GOREN, B. S.
The effects of hypoxia and hyperoxia upon the oxygen
tension in the vitreous humor of the cat.
Amer. J. Ophthal. 42, 764 (1956)
- 23.) KRONFELD, P.
Die Frage der Linsenatmung.
Ber. dtsch. ophthal. Ges. 230 (1927)
- 24.) KRONFELD, P. und BOTHMANN, L.
Zur Frage der Linsenatmung.
Z. Augenheilk. 65, 41 (1928) Zit. nach W. HANS
- 25.) LANDOIS-ROSEMANN
Lehrbuch der Physiologie des Menschen
Band I, 208 (1960)
- 26.) MASHIMO, N.
Über den Gaswechsel der Linse.
Klin. Wschr. 1923, (1809) Zit. nach W. HANS
- 27.) MEESMANN, A.
Blutgasanalysen am Kaninchenauge.
Ber. dtsch. Ophthal. Ges. 48, 99 (1930)
- 28.) MICHEL
Die Temperatur-Topographie des Auges.
Albrecht v. Graefes Arch. Ophthal. 152, 201 (1951)
- 29.) NEUMANN, H. G.
Berichte des Wirtschaftsministeriums 1958
Diss. 1958

- 30.) PAU, H.
Betrachtungen zur Physiologie und Pathologie des
Glaskörpers.
Albrecht v. Graefes Arch. Ophthal. 152, 201 (1951)
- 31.) RODENHÄUSER, J. H.
Uveadurchblutung und Augeninnendruck.
Bücherei des Augenarztes 42. Heft (1963)
- 32.) ROHEN, J. W.
Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen
Band IV, 375 (1964)
- 33.) RUFF, S. und STRUGHOLD, H.
Grundriß der Luftfahrtmedizin
J. A. Barth, München 1957
- 34.) SCHOLANDER, F. P.
Analyzer for accurate estimation of respiratory gases
in onehalf cubic centimeter samples.
J. biol. Chem. 167, 235 (1947)
- 35.) SILEX, P.
Zur Temperatur-Topographie des Auges und über warme
und kalte Umschläge.
Arch. f. Augenheilk. 26/27, 141 (1893)
- 36.) VELHAGEN, K.
Die hypoxämische Farbenasthenopie, eine latente Stö-
rung des Farbensinnes.
Arch. f. Augenheilk. 109, 606 (1936)

Herrn Prof. Dr. med. W. Straub bin ich für die Überlassung des Themas und für sein Entgegenkommen bei der Benutzung der Laboratorien und der Bibliothek zu Dank verpflichtet.

Herrn Dr. med. K.W. Jacobi danke ich für wertvolle Anregungen und den ständigen Rat bei der Durchführung der Arbeit.

Lebenslauf

Am 4.12.1939 wurde ich in Braunschweig als Sohn des Facharztes für Nervenheilkunde Dr. med. Wolfgang Driest und dessen Ehefrau Liselotte Driest, geborene Kätelhön, geboren. Ich habe noch drei Schwestern, die 1938, 1941 und 1944 geboren wurden. Drei Monate nach meiner Geburt kam ich nach Ludwigsburg, wo meine Eltern ihren Wohnsitz hatten. Im Herbst 1946 wurde ich dort in die Volksschule eingeschult. Im Frühjahr 1947 zogen meine Eltern nach Herborn/Dillkreis. Bis 1951 besuchte ich dort die Volksschule und kam Ostern 1951 in die Sexta des humanistischen Gymnasiums in Dillenburg. Dort legte ich 1960 meine Reifeprüfung ab.

1960 immatrikulierte ich mich für das Fach Medizin an der Philipps-Universität, Marburg/Lahn, und legte im Wintersemester 1960/61 die naturwissenschaftliche Vorprüfung ab. Nach dem 3. Semester wechselte ich nach Mainz um und bestand dort im Sommersemester 1962 die ärztliche Vorprüfung. Die beiden ersten klinischen Semester studierte ich an der Freien Universität in Berlin und kam zum 3. klinischen Semester nach Marburg zurück. Im Sommersemester 1965 habe ich mich zur ärztlichen Prüfung gemeldet.

Am 18. Februar 1966 bestand ich das medizinische Staatsexamen und promovierte am 16. Juni 1966 zum Dr.med.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten:

In Marburg:

Berendes, Bommer, Braun-Falco, Buchholz, Bücher, Dimroth, Drawert, du Mesnil de Rochemont, Exner, Gedigk, Hamm, Hartmann, Hensel, Heuser, Hornung, Jakob, Lang, Linneweh, Mahr, Martini, Marx, Neubauer, Niessing, Petry, Rodenhäuser, Rothen, Salfeld, Sauer, Schiff, Schleyer, Schmid, Schwaiger, Seidel, Siegert, Siess, Straub, Streicher, Walcher, Würterle.

In Mainz:

Bässler, Ehrenbrand, Dabelow, Lang, Müller, Schriever, Siebert, Watzka.

In Berlin:

Bayer, Bücherl, Goerke, Franke, Herxheimer, Hörmann, Hörning, Kleberger, v. Kreß, Lax, Loeschke, Maßhoff, Pelnitz, Pezold, Schmidt, Wolter.

